

张玲玲. 石膏原岩静水溶蚀时间—温度效应试验初步研究[J]. 中国岩溶, 2019, 38(2): 265-268.
DOI: 10. 11932/karst20190211

石膏原岩静水溶蚀时间—温度效应试验初步研究

张玲玲

(山西省第三水文地质工程地质队, 山西 晋中 030620)

摘要: 文章对石膏原岩在静水溶蚀条件下的时间—温度效应进行了初步研究, 并从微观角度对石膏岩溶蚀破坏机理进行分析。试验发现随着溶液温度的升高、溶蚀时间的延长, 石膏岩溶蚀破坏加剧。具体表现为: 石膏岩失重率随温度升高、时间延长而增大, 溶蚀速率均值随温度升高而增大; 溶液中 Ca^{2+} 浓度随温度升高、时间延长而增大, Ca^{2+} 浓度增长速率均值随温度升高而增大。Fick 扩散及溶胀应力是石膏岩溶蚀破坏的主要原因。静水溶蚀条件下, 石膏原岩主要溶蚀破坏形式为: 溶胀裂缝、柱状劈裂及片状剥离。

关键词: 石膏原岩; 温度; 时间效应; 溶蚀效应

中图分类号: P642. 25 **文献标识码:** A

文章编号: 1001-4810(2019)02-0265-04

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

水与岩石相互作用是研究岩土体稳定性的重要内容, 对工程地质响应评价、地质灾害预警等具有重要的意义^[1]。总体而言, 水对岩石的溶蚀作用主要分为两类: 化学作用、物理作用。化学作用主要是指水化作用、氧化作用、水解与溶解作用, 物理作用主要是指水的“搬运作用”、溶胀作用等^[2-4]。

近年来, 国内外已有学者针对水的岩溶作用引发的塌陷等地质灾害进行了研究。张海坦等^[5]研究了歌乐山岩溶引起的地面塌陷发育特征, 发现塌陷发育过程分为早起、中期、晚期三个阶段, 并且以潜蚀作用为主。赵博超等^[6]研究了岩溶塌陷的主要影响因素及模型。史俊德^[7]等一认为岩溶塌陷主要由岩溶体上部岩土体、地下水系统及具有一定发育程度的岩溶三个方面决定。基础实验与理论研究方面, 刘新荣^[8]等研究了水岩相互作用对岩石物理力学性质弱化的影响, 从物理、化学、力学等方面总结了岩石劣化的规律及机理。王广华^[9]等研究了不同温度下二氧化碳—水—岩石间的相互作用, 发现温度对可溶岩石的溶蚀作用加剧。陈瑜^[10]等应用表面扫描仪研究了水溶

蚀作用对岩石表面形貌的影响, 发现水溶蚀后岩石表面形貌具有高度的离散型、偏离基准面的程度、粗糙度变大, 且高度的分布概率较为集中。曹平^[11]等也针对不同温度下水岩作用对岩石节理面的影响进行了研究。

本文研究了水对以石膏为代表的可溶盐岩溶蚀效应, 综合考虑地温、时间因素的影响, 着重分析了石膏静水溶蚀特征规律及溶蚀作用的微观结构机理。对工程地质评价、地质灾害预警具有一定的理论价值与指导意义。

1 试验条件及过程

本试验采用的石膏试件来源于山西西山石膏矿床, 该矿床处于山西台背斜沁水台凹中, 含矿岩系为中奥陶统峰峰组海相沉积碳酸盐岩建造。石膏样品结构致密, 呈片状, 原岩中 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 矿石含量约为 82.59%。

石膏试件采用手工磨制, 试件尺寸近似为 3 mm × 3 mm × 3 mm, 共 10 个试件, 编号为 0# ~ 10#, 0# 试件为干燥原样, 其余 9 个试件分成三组, 分别置

作者简介: 张玲玲(1989—), 女, 硕士, 助理工程师。E-mail: zlywd0128910@163.com。
收稿日期: 2018-01-02

于 25 °C、45 °C 和 65 °C 去离子水中,试件浸泡时间分别为 8 h、16 h、24 h,试验中去离子水溶液体积均为 100 mL。各试件原始质量见表 1。

试验过程:首先使用物理分析天平(精度 0.000 1 g)称重,统计试件的质量变化情况;然后,使用离子计测量石膏溶蚀后溶液中 Ca^{2+} 浓度;最后,使用电子扫描显微镜(SEM)对干燥原样及浸泡后的试件进行扫描,观测溶蚀作用之后试件的表面结构变化。

实验中,地温梯度选为 $0.033 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$,即埋深

每增加 30 m,地温升高 $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。地面温度选为 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。实验温度选为 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ (相当于地表)、 $45 \text{ } ^\circ\text{C}$ (相当于 600 m 埋深)及 $65 \text{ } ^\circ\text{C}$ (相当于 1 200 m 埋深)。

2 试验结果分析

2.1 失重分析

由实验前后石膏原岩试样的质量变化情况,得出石膏原岩在静水溶蚀实验中的时间—温度效应(表 1)。

表 1 石膏静水溶蚀失重概况

Table 1 Weight loss characteristics of gypsum rock soaked in static water

编号	试件原始质量/ g	水溶液温度/ °C	浸泡时间/ h	溶蚀质量 /g	失重率 /%	溶蚀速率 /g · h ⁻¹	溶蚀速率均值 /g · h ⁻¹
0#	0.055 0	—	—	—	—	—	—
1#	0.044 1	25	8	0.005 2	11.87	0.000 65	
2#	0.069 5	25	16	0.010 3	14.85	0.000 644	0.000 624
3#	0.046 2	25	24	0.013 9	30.11	0.000 579	
4#	0.059 6	45	8	0.009	15.16	0.001 125	
5#	0.073 5	45	16	0.021 7	23.26	0.001 356	0.001 102
6#	0.051 1	45	24	0.019 8	38.69	0.000 825	
7#	0.058 1	65	8	0.014	24.15	0.001 75	
8#	0.068 2	65	16	0.021 1	30.98	0.001 319	0.001 31
9#	0.052 4	65	24	0.020 7	39.44	0.000 863	

由表 1 可知,石膏原岩静水溶蚀失重率具有明显的温度—时间效应。相同的溶蚀时间条件下,随着水温度的升高,失重率逐渐增大;如静水溶蚀 24 h,温度为 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时,石膏原岩的失重率最小为 30.11%;当温度升高为 $65 \text{ } ^\circ\text{C}$,石膏原岩失重率最大为 39.44%。相同的温度条件下,随着溶蚀时间的延长,失重率也逐渐增大;如当静水温度为 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$,溶蚀 8 h,石膏原岩的失重率最小为 11.87%;溶蚀 24 h 时,石膏原岩的失重率为 30.11%。在相同的温度条件下,溶蚀速率随时间的延长表现为逐渐减小的趋势(除 5# 外,可能是由试样的差异性所导致),这主要是随着溶蚀试验的进行,石膏原岩与水溶液的接触面积逐渐减小,导致溶蚀速率降低;溶蚀时间相同的条件下,石膏原岩的溶蚀速率随温度的升高而逐渐增大,表明温度升高有利于石膏原岩的溶蚀。

2.2 水溶液 Ca^{2+} 浓度分析

利用离子计测量分析法,得到了实验中不同溶蚀条件下水溶液中 Ca^{2+} 含量(表 2)。

表 2 溶液中 Ca^{2+} 浓度演化特征

Table 2 Variation of Ca^{2+} concentration with different times and temperatures

编号	Ca^{2+} 浓度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	Ca^{2+} 浓度变化速率/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	Ca^{2+} 浓度变化速率均值/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
0#	—	—	—
1#	0.072	0.009	
2#	0.208	0.013	0.013
3#	0.408	0.017	
4#	0.12	0.015	
5#	0.32	0.02	0.018
6#	0.456	0.019	
7#	0.216	0.027	
8#	0.352	0.022	0.024
9#	0.528	0.022	

由表 2 可知,相同的温度条件下, Ca^{2+} 浓度随溶蚀时间的延长逐渐增大;相同的溶蚀时间下, Ca^{2+} 浓度随溶蚀温度的升高而逐渐增大。随着水溶液温度

的升高, Ca^{2+} 浓度变化速率均值逐渐由 $0.013 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 增大到 $0.024 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2.3 石膏原岩水溶蚀 SEM 分析

由图 1 可知,石膏原岩表层十分致密,没有明显的孔洞或者裂缝。静水溶蚀后,石膏表层结构破坏明显,出现了明显的纵横交错的裂缝(图 2)。通过对图 2 的观察,发现石膏表层被溶蚀破坏后主要有三种形式裂隙,即溶胀裂缝、片状剥离和柱状劈裂,其中,溶胀裂缝主要是由石膏吸水膨胀引起;而柱状劈裂存在两个方向,即平行于石膏晶体(簇)层理方向(图 2 中 C 部分)和非平行于石膏晶体(簇)层理方向(图 2 中 B 部分)。平行于石膏晶体(簇)层理方向的裂缝多产生在晶体(簇)内部,与石膏晶体(簇)层理方向成一定角度的裂缝多产生在晶体(簇)边缘,这种差异是由石膏原岩吸水膨胀应力分布的非均质性引起的。

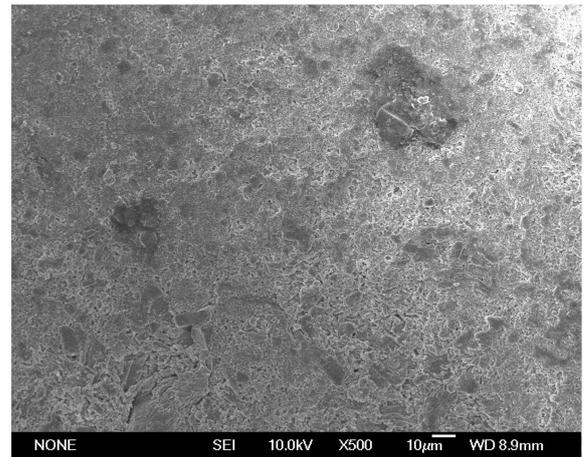


图 1 石膏原岩表层结构 SEM 图片 (500×)
Fig. 1 SEM image of surface structure of original gypsum rock

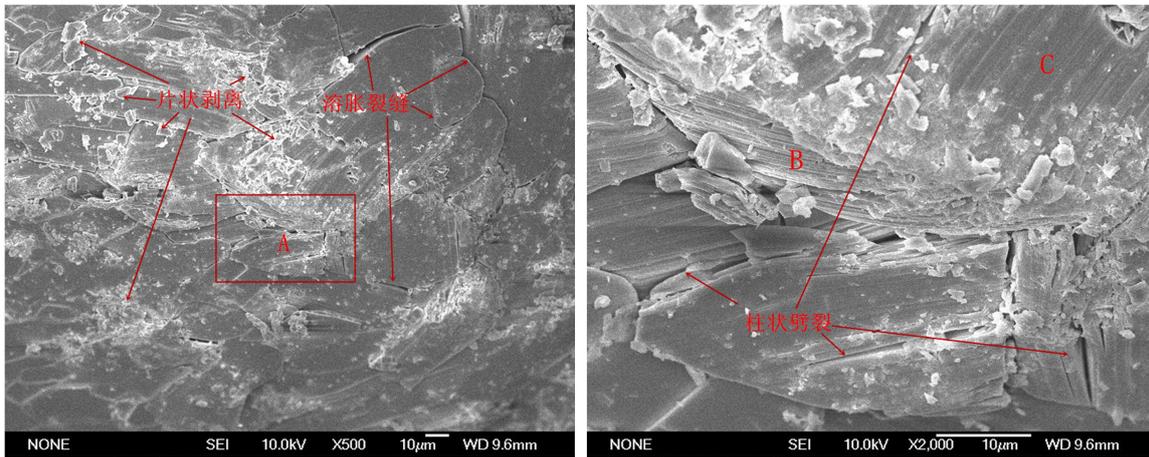


图 2 石膏静水溶蚀表层结构特征

Fig. 2 Surface structure characteristics of gypsum rock corroded in static water

(左图放大 500 倍,右图为左图 A 区域放大图片,放大倍数为 2 000 倍,目的是为了更为清楚地看到柱状劈裂破坏结构)

2.4 石膏原岩静水溶蚀破坏机理分析

石膏在水溶液中,由于水分子的润湿水化作用,石膏晶体(簇)间的胶结物和碎屑发生运移和扩散,另一方面石膏晶体(簇)吸水膨胀,且石膏原岩由内到外的吸水量不同,导致石膏原岩各部分膨胀变形不同步,石膏原岩膨胀应力非均质性十分明显。温度对石膏溶蚀的影响主要体现在温度越高,水分子运动越剧烈,Fick 扩散作用得到加强。

由石膏原岩 SEM 照片可看出,静水溶蚀条件下,石膏原岩主要有溶胀裂缝、柱状劈裂、片状剥离三种破坏形式。作为一种常见的难溶盐岩,石膏岩组分分布具有非常明显的非均质性,原岩中的杂质矿物颗粒在 Fick 扩散作用下,首先随水分子运移到水溶

液中,从而在硫酸钙晶体(簇)间形成溶胀裂缝;由于石膏原岩结构致密,水分子浸入石膏中是一个缓慢的过程,且水分在石膏岩中的分布是非均匀的,石膏含水率由外部到内部逐渐降低,因此石膏吸水膨胀也必然是非均匀的,这种晶体(簇)内部膨胀应力的作用是石膏片状剥离的原因(图 3)。对于石膏原岩柱状劈裂破坏产生的原因则更为复杂,对于图 2 中 C 类柱状劈裂而言,其产生的主要原因是水分子进入石膏晶体骨架间的弱结合面中,削弱了结合面间的联结强度;而图 2 中 B 类柱状劈裂,其主要受相邻两个或者多个晶体(簇)吸水膨胀应力的共同影响,故使该类裂缝与晶体(簇)层理方向呈一定夹角。

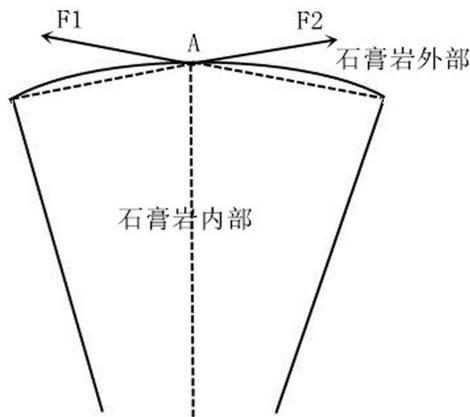


图3 石膏岩溶胀应力简图

Fig. 3 Swelling stress of gypsum rock in water

3 结论

本文以石膏原岩为研究对象,研究了石膏岩静水溶蚀的温度-时间效应,并初步分析了石膏静水溶蚀破坏机理,得到如下认识:

(1)随着溶蚀时间的延长、溶蚀温度的升高,石膏岩的失重率和溶解量逐渐增大;石膏平均溶蚀速率随着温度的升高而增大。

(2)实验溶液中钙离子浓度随时间的延长、温度的升高而增大,钙离子浓度变化速率均值随温度的升高而逐渐增大。

(3)石膏岩静水溶蚀环境下,石膏晶体(簇)间溶胀裂缝、簇内柱状劈裂及晶体(簇)片状剥离是石膏溶

蚀破坏的三种主要形式,且受石膏岩组分非均质性、溶胀应力非均匀性影响显著。

(4)以石膏原岩为代表的难溶盐岩遇水溶蚀效应及机理研究对于工程地质响应评价、地质灾害预警等具有一定的意义。

参考文献

- [1] 周平根. 地下水与岩土介质相互作用的工程地质学研究[J]. 地学前缘, 1996, 3(1-2): 176.
- [2] Yu W D, Liang W G, Li Y R, et al. The meso-mechanism study of gypsum rock weakening in brine solutions[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2016, 75(1): 359-367.
- [3] 袁道先. 中国岩溶动力系统[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 62-108.
- [4] Fan C F, Teng H H. Surface behavior of gypsum during dissolution[J]. Chemical Geology, 2007, 245: 242-253.
- [5] 张海坦, 李庆华, 邓书金. 歌乐山岩溶地面塌陷发育特征[J]. 中国岩溶, 2015, 34(1): 58-63.
- [6] 赵博超, 朱蓓, 王弘元, 等. 浅谈岩溶塌陷的影响因素与模型研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 515-521.
- [7] 史俊德, 连冬香, 杨士臣. 论岩溶塌陷问题[J]. 华北地质矿产杂志, 1998, 13(3): 61-64.
- [8] 刘新荣, 傅晏, 郑颖人, 等. 水岩相互作用对岩石劣化的影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(1): 77-82, 88.
- [9] 王广华, 赵静, 张凤君, 等. 砂岩储层中 CO₂-地层水-岩石的相互作用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(3): 1167-1173.
- [10] 陈瑜, 曹平, 蒲成志, 等. 水-岩作用对岩石表面微观形貌影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(11): 3452-3458.
- [11] 曹平, 宁果果, 范祥, 等. 不同温度的水岩作用对岩石节理表面形貌特征的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(4): 1510-1516.

Preliminary experimental study on time-temperature effects of gypsum rock corrosion in static water

ZHANG Lingling

(The 3rd Hydrological & Engineering Geological Team of Shanxi Province, Jinzhong, Shanxi 030620, China)

Abstract This work studies the time-temperature effects of gypsum rock corrosion in static water in laboratory. The mechanism of gypsum rock corrosion is observed by the Scanning Electron Microscope (SEM) method. The results indicate that gypsum rock would be corroded more seriously with temperature rising and time prolonging. The weight loss rate of gypsum rock increases with temperature rising and time prolonging. The corrosion rate of gypsum rock also increases with the rise of temperature. So does the concentration of Ca²⁺ in water. The main reasons for gypsum rock corrosion are Fick diffusion and water swelling stress resulted from water absorption. The main corrosion ways of gypsum rock in static water are fracturing caused by water swelling, columnar splitting and flake exfoliation.

Key words gypsum rock, temperature, time effect, corrosion effect

(编辑 张玲)